



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

**ROBOTIZOVANÁ PRACOVISTĚ PRO TECHNOLOGIE
NANÁŠENÍ POVRCHOVÝCH HMOT**

PAINTING ROBOTIZED WORKPLACES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marek Macháček

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

BRNO 2018

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student: **Marek Macháček**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce: **doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.**
Akademický rok: 2017/18

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Robotizovaná pracoviště pro technologie nanášení povrchových hmot

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Obsahem závěrečné vysokoškolské kvalifikační práce je sestavit přehled vzorových a realizovaných typů robotizovaných pracovišť, které se využívají v technologiích nanášení nátěrových hmot na povrch součástek. Jejich popisem a technicko–ekonomickým zhodnocením pak uvést výhody a nevýhody v použití robotu, jako náhrady za člověka ve výrobním procesu.

Cíle bakalářské práce:

1. Úvod do projekčně–konstrukčního řešení robotických buněk pro operace nanášení povrchových hmot, tj. lakování, smaltování apod.
2. Analýza současného sortimentu výrobků, vhodných pro robotické nanášení nátěrových hmot a smaltů na povrch dílců kovových i nekovových.
3. Příklady úspěšných aplikací RTP (popis jednotlivých zařízení a vyobrazení).
4. Vyhodnocení technicko–ekonomického přínosu RTP po jeho realizaci ve strojírenském podniku.
5. Závěr.

Seznam doporučené literatury:

KOLÍBAL, Z. Roboty a robotizované výrobní technologie. První vydání. Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-80-214-4828-5.

SHIGLEY, J.E., MISCHKE, Ch.R., BUDYNAS, R.G., VLK, M. Konstruování strojních součástí. Přeložil HARTL, M. První vydání. Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2010. ISBN 978-80-214-2629-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá robotizovanými pracovišti pro technologie nanášení povrchových hmot. Nejprve jsou uvedeny technologie využívané při robotizovaném nanášení povrchových hmot a poté příklady pokročilé robotizace ve výrobních závodech. Poslední část popisuje technicko-ekonomický přínos těchto technologií v konkrétních navštívených podnicích.

KLÍČOVÁ SLOVA

Robot, průmyslový robot, technologie nanášení nátěrových hmot, robotizované pracoviště

ABSTRACT

This bachelor's thesis focuses on painting robotized workplaces. Technologies used for robotized painting are mentioned first, examples of advanced robotization in manufacturing companies follow. The last part describes technical and economical benefits of these technologies in particular factories.

KEYWORDS

Robot, industrial robot, paints application technology, robotized workplace

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MACHÁČEK, M. *Robotizovaná pracoviště pro technologie nanášení povrchových hmot*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 37 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Radka Knoflíčka, Dr. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2018

.....

Marek Macháček

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji za podporu své rodině, přátelům a panu docentu Knoflíčkovi za cenné rady.

OBSAH

Úvod	9
1 Úvod do projekčně-konstrukčního řešení robotických buněk pro operace nanášení povrchových hmot	10
1.1 Robot (manipulátor) jako nosič technologické hlavice	10
1.2 Doprava součástí na pracovní místo	10
1.3 Identifikace součástí	11
1.4 Manipulace součástí	11
1.5 Automatické stříkání	12
1.6 Ochrana před nebezpečím výbuchu	12
2 Analýza současného sortimentu výrobků vhodných pro robotické nanášení nátěrových hmot a smaltů na povrch dílců kovových i nekovových	13
2.1 Koncové efekty	13
2.2 Roboty primárně určené pro nanášení povrchových hmot	15
3 Příklady úspěšných aplikací RTP	17
3.1 Tesla, Inc.	17
3.2 Audi AG	18
3.3 Fanuc Corporation	19
4 Vyhodnocení technicko-ekonomického přínosu RTP po jeho realizaci ve strojírenském podniku	20
4.1 Automatická barvicí linka v CIDEM Hranice a.s.	20
4.2 Robotizované pracoviště v ZKL Brno a.s.	25
Závěr	32
Použité informační zdroje	33
Seznam použitých zkratk a symbolů	37

ÚVOD

„Robot představuje zařízení, které má většinu následujících vlastností:

1. *Manipulační schopnost, tj. schopnost uchopovat objekty, přenášet je a provádět na nich úpravy, případně vykonávat montážní činnost a manipulaci s nástroji, a to i ve smyslu práce s nimi, tedy pracovat jako výrobní zařízení (tzv. technologický robot).*
2. *Univerzálnost, což v daném smyslu znamená, že zařízení neslouží pouze jednomu účelu, ale po změně programu, chapadel nebo nástrojů je možné jej použít i pro jiné účely a na jiném pracovišti.*
3. *Vazba s prostředím, tj. možnost vnímání pomocí čidel (senzorů) napodobujících smysly člověka. Příkladem může být vizuální vazba odpovídající u člověka zraku, akustická vazba odpovídající sluchu, doteková vazba odpovídající hmatu, popřípadě vazba senzorká, která přenáší skrze čidla informace, jejichž příjem je pro člověka nemožný.*
4. *Autonomní chování, tj. schopnost vykonávat automaticky složitou posloupnost úkolů podle určitého programu. Důležitý je zejména případ, kdy tento program není pevný (daný konstrukcí, jako například u klasických řídicích automatů), ale je volitelný buď člověkem, nebo automaticky vlastním zařízením.*
5. *Prostorová soustředěnost jednotlivých složek (integrovanost) pokud možno do jednoho celku. Toto se však přímo netýká řídicího systému, zvláště jde-li o větší počítač, který může robot řídit i bezdrátově. Je-li robot integrovaný do jednoho celku, dá se v důsledku toho mj. snadněji transportovat. V některých případech lze požadovat, aby robot byl mobilní.*
6. *Označení „robot“ je tedy vhodné především pro manipulační mechanizmy, které vykonávají úkony blízké se typickým úkonům člověka, a tyto úkony provádějí s „lidskou“ obratností. A dále je označení „robot“ vhodné pro manipulační mechanizmy řízené počítačem. Neznamená to však, že robot se musí svými manipulačními schopnostmi úzce blížit manipulačním schopnostem lidské ruky, která má od ramenního kloubu po konce všech prstů celkem 27 stupňů volnosti.“ [1]*

Robotizace je definována jako „zavádění robotů do praxe“ [18].

Hlavními aplikacemi robotů v praxi jsou:

- a) *„Mezioperační manipulace a doprava*
- b) *Tváření*
- c) *Svařování*
- d) *Tepelná úprava*
- e) *Obrábění*
- f) *Kontrola*
- g) *Povrchová úprava*
- h) *Montáž“ [2]*

1 ÚVOD DO PROJEKČNĚ-KONSTRUKČNÍHO ŘEŠENÍ ROBOTICKÝCH BUNĚK PRO OPERACE NANÁŠENÍ POVRCHOVÝCH HMOT

Sestava typického robotizovaného pracoviště pro nanášení povrchových hmot zahrnuje tyto části:

1. „Robot (manipulátor) jako nosič technologické hlavice
2. Doprava součástí na pracovní místo
3. Identifikace součástí
4. Manipulace součástí
5. Automatické stříkání
6. Ochrana před nebezpečím výbuchu“ [2]

1.1 ROBOT (MANIPULÁTOR) JAKO NOSIČ TECHNOLOGICKÉ HLAVICE

Lakovací roboty mají zpravidla poměrně štíhlé rameno, protože u nich není zapotřebí, aby pohybovaly s velkými hmotami a je pro ně důležitý přístup ke všem lakovaným plochám [5].

Robot pro nanášení povrchových hmot může mít výměnné koncové efekторы, z nichž je některý vhodný i pro tuto operaci, nebo je strojem, jehož celá konstrukce je určena pouze pro tento účel.

1.2 DOPRAVA SOUČÁSTÍ NA PRACOVNÍ MÍSTO

Pro nanášení povrchových hmot jsou součásti typicky dopravovány v dávkách, koších, nebo na plochých dopravnících. Součásti poté musejí být lokalizovány a umístěny na stojan nebo závěsný dopravník pro dopravení k zařízení pro nanášení povrchových hmot [3].

Závěsné dopravní tratě jsou dopravní systémy nevázané k podlaze instalačního prostoru kotvené především na stropě, pro přepravu jednotlivých součástí. Jsou sestavované jako stavebnicové systémy, což umožňuje sestavit dopravní trať podle potřeby výrobní linky, co se týče natočení součástí a jejich rychlosti. Transportní prvky se pohybují po profilových drahách ukotvených na stropě, konzolách ukotvených ke stěnám, nebo sloupech ukotvených k podlaze. Podle aplikace jsou buď řetězové se závěsem, nebo autonomní vozíkové [6].



Obr. 1.1: Závěsná dopravní trať ukotvená na stropě [21]

Další možností je použití řetězového dopravníku, jež umožňuje přesun součástí ke stacionárnímu robotu. Podle společnosti FANUC jsou součásti nabarveny účinněji, jsou

schopny se přesunout do jiných částí systému a nezpůsobují skoro žádný přestřik. Výhodou řetězového dopravníku je eliminace nutnosti upínání součástí [4].



Obr. 1.2: Řetězový dopravník pro dopravu dílů k lakování [22]

1.3 IDENTIFIKACE SOUČÁSTÍ

Roboty využívající kamery mohou jednoduše provést přestavení součástí, jejich identifikaci nezávisle na jejich orientaci, kontrolu chybných součástí a zvětšení výrobní kapacity [4].



Obr. 1.3: Systém strojového vidění s několika kamerami [23]

1.4 MANIPULACE SOUČÁSTÍ

Samotný robot pro nanášení povrchových hmot není schopen se součástí manipulovat. Proto se využívá kombinace s robotickými manipulátory, tak jako je tomu u uspořádání robotické lakovací buňky pro interiéry automobilů od firmy ABB, jež využívá buňku s deseti roboty – 2 manipulátory pro otevírání kapoty motoru a kufru, 4 manipulátory pro otevírání dveří a 4 lakovací roboty [7].



Obr. 1.4: 10 robotů v lakovací lince továrny Volkswagen [24]

1.5 AUTOMATICKÉ STŘÍKÁNÍ

Výhodami automatického stříkání jsou [7]:

- a) tzv. humanizace práce. Práce v lakovně je fyzicky náročná a zdraví škodlivá, což dělá z nahrazení člověka robotem v této oblasti prioritou.
- b) snížení objemu nanášeného materiálu a méně přestřiku, což snižuje ekologickou zátěž. Průměrně se ušetří 0,5 litru barvy na jednu automobilovou karoserii oproti ručnímu stříkání.
- c) zlepšení a ustálení kvality a vyšší úspěšnost nástřiku při prvním průjezdu robotu a zmenšení počtu dostřiků.

1.6 OCHRANA PŘED NEBEZPEČÍM VÝBUCHU

Roboty pro nanášení barev jsou specifické prací ve výbušném prostředí.

Z tohoto hlediska existují 2 typy robotů pro nanášení barev – odolné vůči explozi a vůči explozi neodolné. První zmiňované jsou uzavřenými jednotkami a rameno je natlakováno vzduchem, aby nedošlo ke vniknutí výbušných látek. Roboty vůči explozi neodolné nemají systém tlakového vzduchu [5].



Obr. 1.5: Lakovací roboty v ochranném obalu [26]

Moderním přístupem je koncept čisté místnosti, kdy je kontrolována koncentrace částic ve vzduchu. Ovládání proudění vzduchu v lakovací komoře je vylepšeno pomocí přepážek mezi vnitřkem komory a posuvnými hřídelemi a přívodem elektrické energie, jež jsou umístěny venku [7], [25].

2 ANALÝZA SOUČASNÉHO SORTIMENTU VÝROBKŮ VHODNÝCH PRO ROBOTICKÉ NANÁŠENÍ NÁTĚROVÝCH HMOT A SMALTŮ NA POVRCH DÍLCŮ KOVOVÝCH I NEKOVOVÝCH

2.1 KONCOVÉ EFEKTORY

Na současném trhu je nepřeberné množství koncových efektorů pro nanášení povrchových hmot. Ty se řadí mezi efekty technologické, mezi něž patří i stříkácí pistole.

Stříkácí pistole pro aplikaci barev můžeme rozdělit podle tlaku v trysce na nízkotlaké, středotlaké a vysokotlaké. Dále pak existují pistole s přídavným vzduchem, elektrostatické, pro nanášení lepidel, pro velmi jemné stříkání a stříkání speciální [8].

2.1.1 NÍZKOTLAKÉ STŘÍKACÍ PISTOLE

Pro zvýšení účinnosti se u těchto pistolí využívá technologie HVLP (high volume low pressure = vysoký objem, nízký tlak). Aby ji bylo možné označit jako HVLP, nesmí tlak vzduchu v trysce překročit 10 psi, čili přibližně 0,7 baru. Tyto trysky dodávají vzduch při mnohem nižších rychlostech než trysky s vyšším tlakem, čímž zajišťují jemnější, snáze ovladatelné nanášení barvy. Ačkoliv vůči čistě vzduchovému stříkání spotřebuje vyšší objem vzduchu, má HVLP mnohem nižší spotřebu barvy [9].



Obr. 2.1: Robot s HVLP stříkácí hlavou [27]

2.1.2 STŘEDOTLAKÉ STŘÍKACÍ PISTOLE

Pistole s rozpětím tlaku v trysce 0,7 až 1,5 baru jsou označovány jako středotlaké. Vyšší tlak způsobuje vyšší rychlost nanášení materiálu [10].



Obr. 2.2: Středotlaká pistole PILOT WA 500 pro nanášení lepidel [28]

2.1.3 STŘÍKÁNÍ S PŘÍDAVNÝM VZDUCHEM

Technologie airmix, čili stříkání s přídavným vzduchem, kombinuje výhody konvenčních stříkacích pistolí a stříkání bez přítomnosti vzduchu. K atomizaci (rozprášení) barvy dochází dvakrát – nejprve průchodem barvy skrze štěrbinu při vysokém až středním tlaku bez přítomnosti vzduchu a poté znovu proudem stlačeného vzduchu ze vzduchové hlavice, jež určuje úhel a množství aplikované barvy [11], [12].



Obr. 2.3: Robot s airmix technologií [29]

2.1.4 VYSOKOTLAKÉ STŘÍKACÍ PISTOLE

Pro tlaky okolo 250 barů se využívá technologie AirLess, což je atomizace bez vzduchu. Oproti předchozím zmíněným je přenos účinnější, což přispívá k nižší spotřebě barvy. Výhodou tohoto způsobu nanášení povrchových hmot je možnost nanesení velkého množství barvy nezávisle na její hustotě. Nevýhoda spočívá v nižší kvalitě výsledného povrchu a vyšší prašnosti než u jiných způsobů [14], [15].



Obr. 2.4: Automatická pistole AIRLESS GA400 AL [30]

2.1.5 ROTAČNÍ ZVONKY

Z centrálního vstřikovače proudí barva od středu rotujícího zvonku k jeho okraji. Odstředivé síly vytvoří vlákna barvy, která se rozpadnou na kapky ve vzduchu. Oblak barvy je poté tvarován a přemístěn proudem vzduchu [13].



Obr. 2.5: Rotační atomizér TOPFINISH ROBOTBELL 1 na rameni robotu [31]

2.2 ROBOTY PRIMÁRNĚ URČENÉ PRO NANÁŠENÍ POVRCHOVÝCH HMOT

Často využívaným řešením je robot, jehož jediným účelem je operace nanášení povrchových hmot. Zde jsou uvedeny 2 příklady takovýchto robotů různé konstrukce.

2.2.1 PRŮMYSLOVÝ ROBOT IRB 580

Model IRB 580 od firmy ABB je příkladem robotu s dutým zápěstím, rotačním zvonkem a rovnou konstrukcí, která snižuje opotřebení hadic přivádějících vzduch a barvu. Ovládání je zajištěno pomocí IPS (Integrated Process System = jednotný provozní systém) kontrolujícího průtok barvy a vzduchu. Vybavení pro zpracování barvy je zabudováno v rameni robotu, což zvyšuje dobu odezvy a snižuje množství odpadní barvy a ředidla. Synchronizace spouštění průtoku barvy s pohybem ramene robotu zvyšuje přenosovou účinnost a udržuje přestřik na minimu [16].



Obr. 2.6: Robot IRB 580 bez koncového efektoru [5]

2.2.2 ROBOT KR AGILUS KR 10 R1100 EX 2G

Tento šestiosý robot má přívod barvy vedený hadicemi vně ramene, na jehož konci je upevněn rotační zvonek. Přívod vzduchu je zajištěn třemi ventily zabudovanými přímo v konstrukci robotu. Díky odolnosti vůči výbuchu umožňuje použití barev na bázi ředidla i rozpustných vodou. Zároveň je příkladem robotu, který je díky kompaktním rozměrům možno umístit jak na podlahu, tak i na stěny či strop [17], [19].



Obr. 2.7: Robot KR AGILUS KR 10 R1100 EX 2G [20]

3 PŘÍKLADY ÚSPĚŠNÝCH APLIKACÍ RTP

3.1 TESLA, INC

Továrna společnosti Tesla ve Fremontu v Kalifornii, produkující elektromobily Tesla Model S, Model X a Model 3, měla na začátku produkce Modelu X ve výrobní lince 542 robotů. Jejich počet byl zvýšen při nedávném rozšiřování výrobní kapacity před začátkem výroby Modelu 3 o dalších 467 od německé firmy KUKA Robotics a společnost Tesla plánuje ještě další rozšíření automatizace výrobního procesu. Kromě robotů od značek KUKA a FANUC je závod vybaven i automatickými dopravními vozíky výrobce Adept. Další automatizací také Tesla míní dvacetinásobně zvýšit rychlost pohybu výrobní linky ze současných 5 cm/s na 1 m/s [32].



Obr. 3.1: Roboty KUKA před instalací [32]

Deset z těchto robotů patří mezi největší na světě [33], hydraulický zápusťový lis Schuler SMG je největší v Severní Americe [34].



Obr. 3.2: Lis Schuler SMG v továrně Tesla [38]



Obr. 3.3: Jeden z největších manipulačních robotů na světě [38]

Kromě již běžného automatizovaného lisování, lakování a svařování se zde pokoušejí i o automatizaci konečného sestavování vozidel. Podle analytiků společnosti Bernstein je tato část výrobního procesu v Tesle již za hranicí optimální míry, za kterou považují 36 % automatizovaných operací. Průměrná továrna má při sestavování vozidla automatizovaných méně než 5 % operací. Analytici upozorňují, že při předpokládané 50 % míře u Tesly se by náklady zvýšily až na hranici, kdy je výhodné využití lidských zaměstnanců [35].

3.2 AUDI AG

Automobilka Audi se vydala jiným směrem – zaměřila se na spolupráci robotu a člověka. V Ingolstadtské továrně využívá 800 robotů, přičemž spolupracující roboty (tzv. cobot) jsou využívány nejvíce při konečném sestavování vozidel. Kromě výroby je automatizováno i zakrývání a příprava vozidel pro přepravu i jejich nakládání na vlakovou soupravu [36].

Příkladem spolupráce s dělníkem je robot KLARA – pro aplikace lepidel s robotickou asistencí – používaný při instalaci střeš z uhlíkových vláken do automobilů. Kolem robotu není ochranná klec, protože pracovní prostory dělníka a robotu se prolínají. Člověk připraví střechu do vhodné pozice, robot aplikuje lepidlo a pracovník pak s pomocí manipulátoru nainstaluje střechu do auta. Senzory v robotickém rameni rozpoznají dotyk s člověkem a v případě nebezpečí zastaví veškerý pohyb [37].



Obr. 3.4: Robot KLARA aplikující lepidlo [37]



Obr. 3.5: Robot KLARA červeným světlem indikující kontakt s člověkem [37]

3.3 FANUC CORPORATION

Závod na průmyslové roboty společnosti FANUC je příkladem tzv. lights-out výroby, kdy výrobní proces nevyžaduje přítomnost člověka [39]. 600 navzájem spolupracujících robotů je schopno vyrábět plošné obvody, elektromotory i sestavovat nové roboty až 30 dní bez vnější intervence [41], [42].



Obr. 3.6: Spolupracující roboty vyrábějící další roboty [43]

Na konci roku 2015 začala firma podporovat vývoj umělé inteligence. Díky neustálému provozu robotů bez lidské interakce a celosvětovému sběru dat z výroby v reálném čase bylo možné zavést roboty, které se učí samy. Příkladem je robot vybírající nahodile rozsypané součásti ze zásobníku. Místo programování se robot učí opakováním, po 1 000 pokusech vybere správný díl v 60 % případů, po 5 000 pokusech už v 90 % případů, aniž by muselo být do učení zasahováno [40].

4 VYHODNOCENÍ TECHNICKO-EKONOMICKÉHO PŘÍNOSU RTP PO JEHO REALIZACI VE STROJÍRENSKÉM PODNIKU

Pro tuto část bylo nutné navštívit podnik s automatizovanou výrobou. Po neúspěšném hledání podniku s robotizovaným pracovištěm pro nanášení povrchových hmot ochotného umožnit mi takovou návštěvu jsem z vlastní iniciativy a za souhlasu vedoucího bakalářské práce přistoupil k popisu dvou úspěšných realizací – ve firmě CIDEM Hranice a.s. a v ZKL Brno a.s. Do provozů jsem byl vpuštěn za laskavého souhlasu pana Ing. Martina Mlčáka (CIDEM Hranice a.s.) a pana technického ředitele Ing. Jana Otoupalíka (ZKL Brno a.s.).

4.1 AUTOMATICKÁ BARVICÍ LINKA V CIDEM HRANICE A.S.

4.1.1 POPIS LINKY

Cementotřískové desky – CETRIS – se pohybují po válečkové trati, na kterou byly umístěny z palety speciálním zařízením pro přesun desek (*obr. 4.1*). Nejprve desky projdou brousícím strojem (*obr. 4.2*), poté jsou automatickým manipulátorem přesunuty na druhou válečkovou trať a projdou válcovacím strojem Bürkle (*obr. 4.4*). Zde je spodním válcem nanесena vrstva barvy na spodní stranu desky. Poté projdou přehřevem (*obr. 4.5*) a jsou přesunuty do stříkacího automatu KRONOS od italské firmy MAKOR. Zde je na desky nanесena vodou ředitelná barva za pomoci dvou stříkacích hlav (*obr. 4.7*), každá se 2 tryskami s technologií airmix. Po nastříkání barvy pokračují dále do sušící komory (*obr. 4.8*), jsou přeneseny druhým automatickým manipulátorem na poslední válečkovou trať, po níž projdou chladicí zónou (*obr. 4.10*) na výstup, kde jsou zabaleny a expedovány (*obr. 4.11*).

4.1.2 FOTOGRAFIE Z MÍSTA



Obr. 4.1: Zařízení pro přesun desek z palety na dopravník



Obr. 4.2: Brousící stroj



Obr. 4.3: Přesun na druhou válečkovou trať



Obr. 4.4: Vstup do válcovacího stroje



Obr. 4.5: Předehřev



Obr. 4.6: Čerpadlo barev



Obr. 4.7: Vnitřní pohled na trysky barvicího stroje KRONOS



Obr. 4.8: Oddíl pro sušení barvy



Obr. 4.9: Přesun k chladicí zóně



Obr. 4.10: Vstup do chladicí zóny



Obr. 4.11: Výstup a balení



Obr. 4.12: Tryska s příslušenstvím



Obr. 4.13: Ultrazvukový čistící přístroj

Díky použití vodou ředitelných barev není potřeba ochranných prvků proti výbuchu, proti zanesení barvou jsou hlavice s tryskami chráněny igelitovým obalem (obr 4.7). Používané trysky mají rozměry (průměr trysky v mm/úhel trysky ve °): 13/40, 13/60, 15/40 nebo 17/40. Jejich čištění je prováděno pomocí acetonu a ultrazvukového čistícího přístroje (obr 4.13). Při změně barvy je nutno celý systém vyčistit vodou od barvy předchozí, samotná výměna probíhá jednoduše připojením nové nádoby s barvou k čerpadlu.

4.1.3 TECHNICKO-EKONOMICKÝ PŘÍNOS

Nová technologie stála 11.641.356 Kč. Předpokládaná návratnost investice 4 roky se zvýšila na 5 let z důvodu nižší než předpokládané poptávky po deskách s barvenými otvory. Důvodem pořízení této linky byl zejména technologický posun – s touto technologií je možné barvit i hrany a otvory. Při zachování stálého počtu zaměstnanců s nezměněnou kvalifikací se kapacita výroby zvýšila přibližně o 20 %. Jednoznačným přínosem je již zmíněná možnost výroby desek s barevnými otvory a hranami, dalším vyšší kvalita a stálost barvy – toho bylo dosaženo vícenásobným průjezdem desek linkou, ale na úkor vyšší spotřeby barev.

4.2 ROBOTIZOVANÉ PRACOVÍŠTĚ V ZKL BRNO A.S.

4.2.1 POPIS PRACOVÍŠTĚ

Na vstupu je vložena paleta s kroužky pod manipulátor, jenž je vyloží na lišty, které jsou poté naskládány za sebe. Kroužky jsou postupně vtlačovány skrz poloohřev do pracovního prostoru robotu Reis 130. Po otevření záklopky indukční ohřívací pece (*obr. 4.16*) je kroužek vyjmut odebíracím chapadlem (*obr. 4.18*) a položen na otáčecí stolicí (*obr. 4.21*). Odsud je odebrán vkládacím chapadlem (*obr. 4.19*) a vložen do tvářecího stroje URWA 420 umožňujícího rozválcování ložiskových kroužků za tepla i studena (*obr. 4.23*). Vytvářené kroužky jsou přesunuty po válečkové trati (*obr. 4.25*) a paletovány.

4.2.2 ŠESTIOSÝ ROBOT REIS 130

Zakládá ložiskové kroužky z indukčního ohřevu do tvářecího stroje URWA 420 s frekvencí přibližně 3 minuty. K tomu využívá dvoučelistový koncový efektor (*obr. 4.20*) o nosnosti 35 kg s výměnnými uchopovacími prsty. Pro změnu průměru kroužku je potřeba manuální seřízení efektoru. Všechny osy robotu jsou poháněny elektromotory, chapadla efektoru pneumatically.

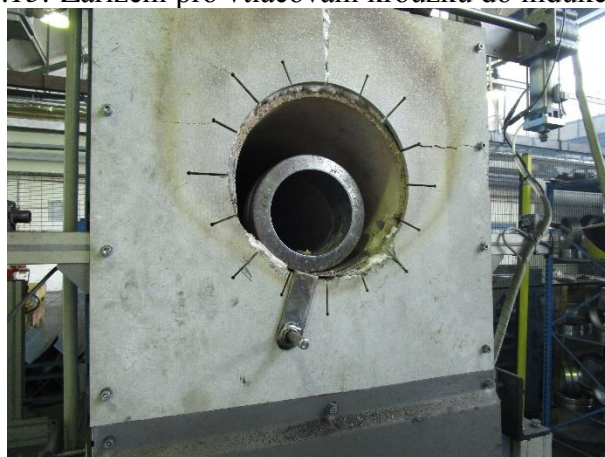
4.2.3 FOTOGRAFIE Z MÍSTA



Obr. 4.14: Vstup pro paletu s kroužky, otvor indukční pece



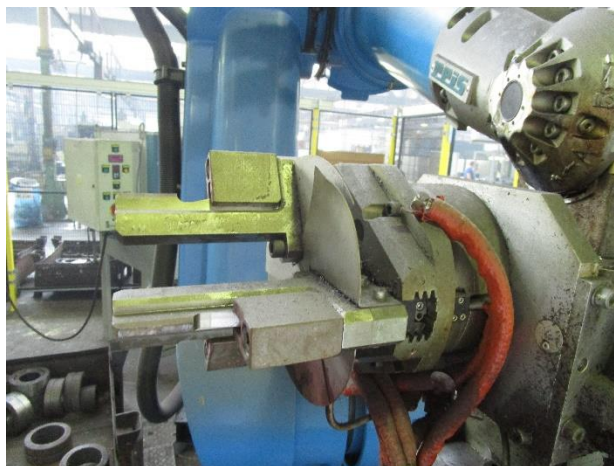
Obr. 4.15: Zařízení pro vtláčování kroužků do indukční pece



Obr. 4.16: Výstup kroužků z pece



Obr. 4.17: Celkový pohled na robot Reis 130



Obr. 4.18: Odebírací chapadlo



Obr. 4.19: Vkládací chapadlo



Obr. 4.20: Celkový pohled na koncový efektor



Obr. 4.21: Odkládací stolice



Obr. 4.22: Vstupní otvor tvářecího stroje URWA 420



Obr. 4.23: Celkový pohled na tvářecí stroj URWA 420



Obr. 4.24: Výstup z tvářecího stroje URWA 420



Obr. 4.25: Válečková trať na konci tvářecího procesu



Obr. 4.26: Zařízení na chladicí emulzi



Obr. 4.27: Hasicí systém tvářecího stroje



Obr. 4.28: Kroužky před procesem



Obr. 4.29: Kroužky po procesu

4.2.4 TECHNICKO-EKONOMICKÝ PŘÍNOS

Cena nového robotu byla v době pořízení 5.364.000 Kč. Při tváření za tepla je robot využíván vždy, při tváření za studena se jeho provoz vyplatí od série vyšší než 200 kusů z důvodu nutnosti seřizování pro každou novou sérii. Oproti manuální přepravě kroužků, která vyžaduje

několik zaměstnanců, stačí na obsluhu celého procesu jeden člověk. Kromě snížení počtu osob pohybujících se v okolí zařízení je bezpečnost zvýšena díky ochranné kleci okolo pracovních prostorů robotu a nakládacího manipulátoru, stroj URWA 420 má mimo systém chladicí emulze ještě vlastní automatický hasicí systém využívající CO₂ (*obr. 4.27*). Dále pak k ochraně zdraví přispívá i samotné omezení kontaktu pracovníků s horkými (přibližně 700 °C) a těžkými kroužky díky využití robotu.

ZÁVĚR

Vytváření základního přehledu technologií pro robotické nanášení povrchových hmot bylo výzvou, protože v mnoha publikacích o průmyslových robotech se autoři tímto odvětvím robotizace zabývají jen velmi okrajově.

Dalším úkolem bylo zjištění informací o podnicích s pokročilou úrovní robotizace. Výrobci většinu informací tají, čemuž přičítám i neochotu místních továren ukázat mi své roboty. Z občasných tiskových zpráv a prohlášení je ale možno zjistit alespoň základní detaily. S tím, jak se vyvíjí společenská debata o zavádění robotů do praxe, je možné najít velké množství nepřesných, zavádějících, či přímo lživých článků o jejích dopadech, a proto je potřeba k novým zjištěním přistupovat obezřetně.

Informace ze světa i poznatky z navštívených podniků naznačují, že v současné době se robotizace vyplatí hlavně u sériové a nebezpečné výroby. Nevýhodami jsou hlavně vysoké náklady na pořízení a případná nutnost zaškolení obsluhy.

Nejen v robotizaci nanášení povrchových hmot, která v dnešní době zažívá velký rozvoj, ale v robotizaci obecně, vidím budoucnost strojírenské výroby. Vzhledem k tomu, že se snižují náklady na pořízení robotů, zvyšuje jejich rozmanitost a pokračují pokusy se zaváděním strojového učení, myslím si, že se sériová výroba posune ve směru lights-off továren. Činnosti, pro něž je člověk nezbytný, nejspíše také zažijí jistou míru automatizace v podobě cobotů a dalších strojů vylepšujících výkony lidského pracovníka.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] KOLÍBAL, Zdeněk. *Roboty a robotizované výrobní technologie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně - nakladatelství VUTUM, 2016. ISBN 978-802-1448-285.
- [2] KOLÍBAL, Zdeněk a Pavel BĚLOHOUBEK. *Průmyslové roboty*. Brno: Vysoké učení technické, 1993. ISBN 80-214-0532-5.
- [3] Robotic painting process: part presentation. *YASKAWA* [online]. Yaskawa America, 2016 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z: <https://www.motoman.com/robotic-painting>
- [4] Specials: FANUC painting robots operate in a chain-on-edge environment. *Robot Worx a SCOTT Company* [online]. Marion (Ohio): RobotWorx [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <https://www.robots.com/articles/viewing/fanuc-painting-robots-operate-in-a-chain-on-edge-environment>
- [5] Applications: SPRAYING, PAINTING, COATING. *GLOBAL ROBOTS LTD* [online]. Global Robots, 2018 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: <http://www.robotsltd.co.uk/applications.aspx?app=8>
- [6] PALKO, Anton, Juraj SMRČEK, Jiří SKAŘUPA a Peter TULEJA. *ROBOTIKA - TECHNICKÉ PROSTRIEDKY PRE AUTOMATIZÁCIU VÝROBNÝCH PROCESOV: Navrhovanie, konštrukcia, príklady riešenia* [online]. Košice: Vydavateľstvo Michala Vaška, 2010. ISBN 978-80-8073-961-4.
- [7] GROHMANN, Udo. Paint robots in the automotive industry – process and cost optimization. *ABB Review* [online]. ABB, 1996, **1996**(4) [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: <https://pdfs.semanticscholar.org/66af/27658d5d301f6fe9b3a8cde38276d6b7f54a.pdf>
- [8] Produkty: Ruční a automatické stříkáčské pistole. *WATECH* [online]. WAtch, 2017 [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: <https://www.watech.cz/wagner-group-produkty/wagner-produkty-mokry-prumysl/aplikace-strikani-pistole.html>
- [9] What is HVLP. *Fujispray* [online]. Toronto: Fuji Spray [cit. 2018-03-24]. Dostupné z: <http://www.fujispray.com/what-is-hvlp>
- [10] STŘEDOTLAKÉ STŘÍKACÍ PISTOLE. *WATECH* [online]. WAtch, 2017 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <https://www.watech.cz/wagner-group-produkty/wagner-produkty-mokry-prumysl/aplikace-strikani-pistole/strikani-stredotlake.html>
- [11] Airmix - Airmix paint guns. *Paintingforpainters* [online]. [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <http://www.paintingforpainters.com/airmix.html>
- [12] AIRCOAT STŘÍKACÍ PISTOLE (AIRMIX), STŘÍKÁNÍ S PŘÍDAVNÝM VZDUCHEM. *WATECH* [online]. WAtch, 2017 [cit. 2018-03-25]. Dostupné z: <https://www.watech.cz/wagner-group-produkty/wagner-produkty-mokry-prumysl/aplikace-strikani-pistole/strikani-aircoat-airmix.html>
- [13] Rotating bell. *SAMES KREMLIN* [online]. SAMES KREMLIN, 2018 [cit. 2018-04-14]. Dostupné z: <https://www.sames-kremlin.com/usa/en/technologies-rotating-bell.html>

- [14] AIRLESS STRÍKACÍ PISTOLE VYSOKOTLAKÉ. *WATECH* [online]. WAtch, 2017 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <https://www.watech.cz/wagner-group-produkty/wagner-produkty-mokry-prumysl/aplikace-strikani-pistole/strikani-airless-vysokotlake.html>
- [15] STRÍKACÍ TECHNIKA VYSOKOTLAKÁ - AIRLESS (I). *Kremlin Rexson* [online]. Kremtech Spraying Systems, 2012 [cit. 2018-05-09]. Dostupné z: <http://www.kremtech.cz/index.php?page=pruvodce-vyberem-strikaci-techniky&subpage=strikaci-technika-vysokotlaka-airless-i>
- [16] IRB 580. *ABB* [online]. Shanghai: ABB, 2017 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: <http://search.abb.com/library/Download.aspx?DocumentID=PR10178EN&LanguageCode=en&DocumentPartId=&Action=Launch>
- [17] KUKA ready2_spray. In: *KUKA* [online]. KUKA, 2017 [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: https://www.kuka.com/en-de/products/robot-systems/ready2_use/kuka-ready2_spray
- [18] Význam slova robotizace. *Vyhledavat.cz* [online]. [cit. 2018-02-17]. Dostupné z: https://vyhledavat.cz/slovník-cizich-slov/R/tvar/robotizace_85943.html
- [19] Nový mistr rychlosti. *Svět plastů: plastikářská publikace ve spolupráci s Plastikářským klastrem* [online]. 2013, 2010-, (8), 34 [cit. 2018-05-11]. ISBN 1804-9311. Dostupné z: https://issuu.com/svetplastu/docs/svet_plastu_zari_2013_msv
- [20] PAINTING ROBOT / ARTICULATED / 6-AXIS / PACK READY2_SPRAY. In: *Direct INDUSTRY* [online]. Virtual EXPO GROUP, c2018 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/kuka-roboter-gmbh/product-17587-1873640.html>
- [21] Overhead Conveyor System. In: *Allbiz* [online]. All-Biz, c2010-2018 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://in.all.biz/overhead-conveyor-system-g399346>
- [22] Poháněné řetězové dopravníky. In: *DATEL* [online]. DATEL Ledec, c2016 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://www.datel-ledec.cz/dopravníky>
- [23] Total vision engineering. In: *Abraham Innovations* [online]. AISI, c2011 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://abrahaminnovations.com/>
- [24] Volkswagen's new automated system improves efficiency and reduces waste. In: *TechnoBok Unboxings* [online]. TechnoBok Reviews, 2015 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://technobok.co.za/volkswagens-new-automated-system-improves-efficiency-and-reduces-waste/>
- [25] Čisté prostory v automobilovém průmyslu. *AutomobilIndustry* [online]. infocube, c2018 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://infocube.cz/cs/ciste-prostory-v-automobilovem-prumyslu/>
- [26] PAINTING ROBOT PROTECTIVE COVER. In: *Direct INDUSTRY* [online]. Virtual EXPO GROUP, c2018 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/asp/product-8240-1382605.html>

- [27] SUPRACOAT HVLP SYSTÉM. In: *WATECH* [online]. WAtch, c2017 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.watech.cz/wagner-group-produkty/wagner-produkty-mokry-prumysl/aplikace-strikani-pistole/strikani-nizkotlake-hvlp-hvlp-plus/automaticke-strikaci-pistole-a-systemy-nizkotlake-hvlp-hvlp/supracoat-hvlp-system-detail.html>
- [28] AUTOMATICKÁ PISTOLE PILOT WA 500. In: *WATECH* [online]. WAtch, c2017 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.watech.cz/wagner-group-produkty/wagner-produkty-mokry-prumysl/aplikace-strikani-pistole/strikani-stredotlake/automaticke-strikaci-pistole-a-systemy-stredotlake/automaticka-pistole-pilot-wa-500-detail.html>
- [29] EASY PAINT ROBOT - GUN VERSION. In: *SAMES KREMLIN* [online]. SAMES KREMLIN, c2018 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.sames-kremlin.com/usa/en/solutions-easy-paint-robot-gun-version.html>
- [30] AUTOMATICKÁ PISTOLE AIRLESS GA400 AL. In: *WATECH* [online]. WAtch, c2017 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: <https://www.watech.cz/wagner-group-produkty/wagner-produkty-mokry-prumysl/aplikace-strikani-pistole/strikani-airless-vysokotlake/automaticke-airless-vysokotlake-strikani-a-systemy/automaticka-pistole-airless-ga400-al-detail.html>
- [31] ROTAČNÍ ATOMIZÉR TOPFINISH ROBOTBELL 1- IDEÁLNÍ PRO ELEKTROSTATICKÉ APLIKACE. In: *WATECH* [online]. WAtch, c2017 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://www.watech.cz/wagner-group-produkty/wagner-produkty-mokry-prumysl/aplikace-strikani-pistole/high-tech-strikani-rotacnimi-zvonky/wagner-topfinish-robotbell-1-detail.html>
- [32] ROBOTS INVADE CALIFORNIA: TESLA INSTALLS HUNDREDS OF ROBOTS AT FREMONT FACTORY. *EVANEX* [online]. 2017 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://evannex.com/blogs/news/robots-invade-california-tesla-installs-hundreds-of-robots-at-fremont-factory>
- [33] Tesla Robots Get X-Men Names. *Clean Technica* [online]. 2014 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <https://cleantechnica.com/2014/11/18/tesla-robots-get-x-men-names/>
- [34] Inside Elon Musk's disruption factory. *WIRED* [online]. 2017 [cit. 2018-05-12]. Dostupné z: <http://www.wired.co.uk/gallery/tesla-factory-fremont-tour-photos-pictures>
- [35] The robots are killing Tesla. *BUSINESS INSIDER* [online]. 2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.businessinsider.com/tesla-robots-are-killing-it-2018-3>
- [36] Inside Audi's Robotic Car Factory Of The Future. *GIZMODO* [online]. Allure Media, c2007-2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.gizmodo.com.au/2015/03/inside-audis-robotic-car-factory-of-the-future/>
- [37] Human robot cooperation: KLARA facilitates greater diversity of versions in production at Audi. *Audi MediaCenter* [online]. Ingolstadt: AUDI, c2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.audi-mediacyber.com/en/press-releases/human-robot-cooperation-klara-facilitates-greater-diversity-of-versions-in-production-at-audi-9179>

- [38] We took a tour of the factory where Tesla is building its new Model X. In: *BUSINESS INSIDER* [online]. Insider, c2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.businessinsider.com/tour-of-the-tesla-factory-2015-9>
- [39] Lights-Out Manufacturing: Future Fantasy or Good Business?. *Redshift* by *AUTODESK* [online]. Autodesk, 2015 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.autodesk.com/redshift/lights-out-manufacturing/>
- [40] This Company's Robots Are Making Everything—and Reshaping the World. *Bloomberg* [online]. Bloomberg, 2017 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.bloomberg.com/news/features/2017-10-18/this-company-s-robots-are-making-everything-and-reshaping-the-world>
- [41] Firms begin to turn the lights out. *The ENGINEER* [online]. London: Centaur Communications, c2018 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.theengineer.co.uk/inspiration/firms-begin-to-turn-the-lights-out/>
- [42] Lights Out: how a Japanese robotics facility is changing the face of manufacturing. *[SBMWS.]* [online]. c2010 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <http://sbms.blogspot.cz/2010/10/lights-out-how-japanese-robotics.html>
- [43] ROBOT Factory. In: *FANUC* [online]. Oshino-mura: FANUC CORPORATION, c2011-2017 [cit. 2018-05-14]. Dostupné z: <https://www.fanuc.co.jp/en/profile/production/factory1.html>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

RTP

Robotizované technologické pracoviště